

УДК 621.9

Ю.Г. Гуцаленко, В.В. Ивкин, Л.И. Пупань, Е.К. Севидова, И.И. Степанова
Харьков, Украина

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ АНОДНО-ИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

У статті представлена виконана в НТУ «ХПІ» розробка локальних електроізоляційних захисних покриттів посадкових поверхонь корпусів з алюмінієвих сплавів шліфувальних кругів з алмазно-металевої композицією робочої частини. Наведено характеристики функціональності отриманих методом мікродугового оксидування анодно-іскрових корундових покриттів.

Ключові слова: алмазний шліфувальний круг, посадкова поверхня, діелектричний захист, алюмінієвий сплав, силікатно-лужний електроліт, мікродугове оксидування, довільно падаюча потужність, анодно-іскрове покриття, електрична міцність, товщина покриття, напруга пробоя

В статье представлена выполненная в НТУ «ХПИ» разработка локальных электроизоляционных защитных покрытий посадочных поверхностей корпусов из алюминиевых сплавов шлифовальных кругов с алмазно-металлической композицией рабочей части. Приведены характеристики функциональности полученных методом микродугового оксидирования анодно-искровых корундовых покрытий.

Ключевые слова: алмазный шлифовальный круг, посадочная поверхность, диэлектрическая защита, алюминиевый сплав, силикатно-щелочной электролит, микродуговое оксидирование, произвольно падающая мощность, анодно-искровое покрытие, электрическая прочность, толщина покрытия, напряжение пробоя

The article presents made in NTU "KPI" the development of local electrically insulating coatings for the seating surfaces of frameworks from aluminum alloys of grinding wheels with diamond-metal composition of the working part. The characteristics of the functionality of the anodic-spark corundum coatings received by a micro-arc oxidation are given.

Keywords: diamond grinding wheel, seating surface, dielectric protection, aluminum alloy, silicate-alkaline electrolyte, microarc oxidation, voluntary falling power, anodic-spark cover, electric strength, coating thickness, breakdown voltage

Введение. Одним из самых высокотехнологичных современных методов формообразования труднообрабатываемых материалов, в том числе особо твердого монокарбида вольфрама [1] и синтетических поликристаллических алмазов [2], является созданное и около полувека [3] разрабатываемое в НТУ «ХПИ» алмазно-искровое шлифование. Однако для его реализации на универсальном оборудовании до сих пор выполняется специальная электроизоляционная модернизация с приостановлением эксплуатации станка и переделом ответственного за его точность шпиндельного узла.

Индифферентные наличию токозащиты шпиндельного узла

шлифовального станка от корпуса конструкции алмазно-абразивных инструментов для комбинированных действием электрического тока в зоне резания методов обработки в национальной систематизации [4], мировой исследовательской, рекомендательной и производственной практике инструментов из сверхтвердых материалов до наших разработок не рассматривались. В НТУ «ХПИ» эти работы выполняются последние несколько лет [5]. Токозащиту металлических корпусов алмазных шлифовальных кругов предлагается осуществлять нанесением специально разработанных износостойких диэлектрических покрытий на основе семейства эпоксидно-диановых смол [6], а также электроизоляционным микродуговым оксидированием – для корпусных решений из алюминиевых сплавов.

Постановка исследования. В алюминиевых решениях корпусов алмазных шлифовальных кругов, массо-динамически эксплуатационно предпочтительных, традиционно [7] широко используется сплав АК6 (1360), в современной практике ведущего национального производителя – ПАТ «Полтавский алмазный инструмент» – также Д16 (2024), оба ГОСТ 4784-97, и некоторые другие.

В технологическом маршруте изготовления алмазных кругов операция анодного-искрового микродугового оксидирования должна выполняться до напрессовки на корпус алмазоносного слоя, чтобы обезопасить этот слой от преждевременных электрофизикохимических повреждений, и может осуществляться конвейерным способом с целью повышения производительности выхода покрытых корпусов.

Для бездефектной модернизации традиционных алмазных чашечных кругов в условиях потребителя предложена специальная оснастка круга перед погружением в емкость формирования анодно-искрового покрытия, исключаящая алмазно-металлическую композицию рабочей части шлифовального круга из электрической цепи микродугового оксидирования [8].

Мировая практика анодно-искровых покрытий по методу микродугового оксидирования различных вентильных металлов и сплавов на их основе, в том числе алюминиевой, обычно исходит из использования их износостойких, коррозионностойких и теплостойких свойств. Использования анодно-искровых покрытий в качестве диэлектрических не столь широко распространены и менее изучены, в особенности применительно к задачам точного размерного формообразования.

Однако известно, что в применении микродугового оксидирования к алюминиевым сплавам можно получить защитные анодно-искровые покрытия толщиной до 400 мкм, выдерживающие электрическое напряжение до 6000 В [9] при диэлектрических параметрах таких покрытий, близких

диэлектрикам высшего качества, причем возможным формированием в различных электролитах [10, 11].

Основу известного эффекта изменения размера в направлении формирования анодно-искрового покрытия обеспечивает захват атомов ионизированного в химически активный озон кислорода вентильным металлом поверхностного слоя объекта микродугового оксидирования [12], однако стехиометрическая трансформация металла поверхности в оксидную структуру развивается при этом разнонаправленно, в том числе вглубь исходного объекта, и линейный размерный прирост объекта чисто теоретически не предскажем.

Из предшествующего исследовательского опыта применительно к алюминиевым и титановым сплавам нами также принято во внимание, что существенное влияние на конечный размерный эффект микродугового оксидирования оказывают прежде всего электрические параметры, время протекания процесса, состав электролита и исходный химический состав (выбор марки сплава) субъекта анодно-искрового покрытия.

Взаимосвязанные задачи изучения размерного эффекта приращенной поверхности алюминиевого корпуса шлифовального круга ее микродуговым оксидированием и показателей токозащиты формируемого электрически барьерного покрытия рассматриваются нами в связи с разработкой, испытанием, патентной защитой и предложением промышленности алмазно-абразивных инструментов новых конструкций. В них микродуговое оксидирование предусмотрено для поверхностей рабочих посадок в разъемных или в неразъемных сборочных соединениях, как это имеет место в технических решениях алмазных шлифовальных кругов с локальной токозащитой корпуса, разработанных на базе корпусных конструкций соответственно конвенционного универсального типа [13, 14] и специальной, заодно со шкивом рабочего привода [15], расширившей технологические возможности японского прототипа.

Для определения структуры и содержания технологического маршрута производства алмазно-абразивных инструментов предложенных конструкций необходим достоверный прогноз размерного и связанного с ним диэлектрического результата операции микродугового оксидирования, окончательной или с увязанной с нею предварительной (расточной) или последующей (доводочной) размерной обработкой.

При этом следует принимать во внимание, что если понижение некоторой расчетной толщины анодно-искрового покрытия со служебной функцией обеспечения, например, износостойкости принципиально не препятствует работоспособности детали, хотя и понижает ресурс высокофункциональной эксплуатации подвергнутой микродуговому оксидированию поверхности, то в задачах токозащиты проведение такого

понижения следует рассматривать с позиций риска доэксплуатационной выбраковки детали техническим контролем.

Исследования размерного эффекта микродугового оксидирования проведены применительно к характерным представителям алюминиевых сплавов Д16 и АК6, современно используемым отечественной инструментальной промышленностью в производстве корпусов алмазных шлифовальных кругов, и выполнены в условиях использования источников переменного электрического тока и с квазилинейной характеристикой тока (рис. 1), формирования анодно-искровых покрытий в типичных растворах щелочи, жидкого стекла и их комбинаций.

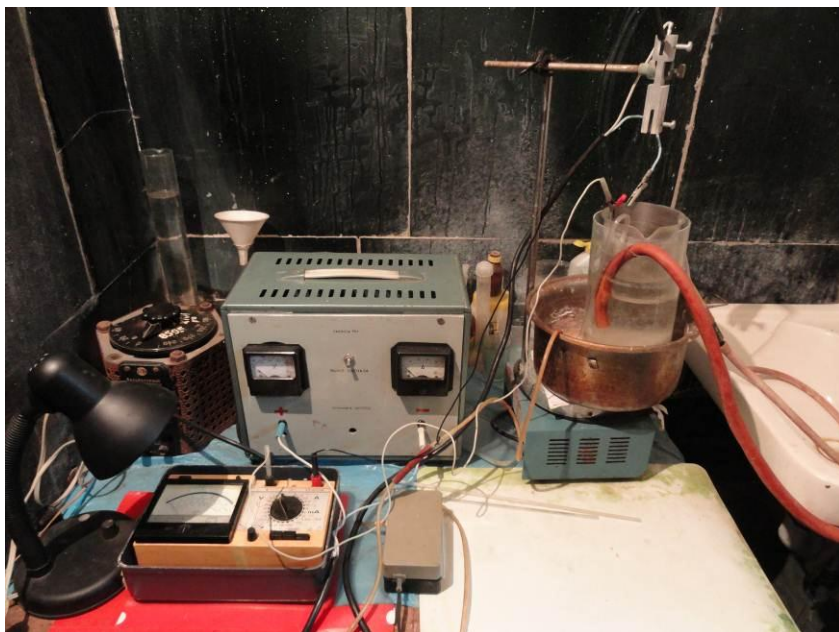


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки МДО

Основные результаты. Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что анодно-искровые покрытия толщиной 30...60 мкм, сформированные микродуговым оксидированием, обеспечивают объемное электрическое сопротивление (рис. 2) порядка $10^7...10^8$ Ом при напряжении пробоя 350...760 В.

Дальнейшее наращивание толщины покрытий приводит к снижению удельных показателей этих характеристик, соответственно удельного объемного сопротивления и электрической прочности.

При этом прирост исходных линейных размеров поверхностей с покрытиями составляет 50...85% от общей толщины сформированных на них оксидов.

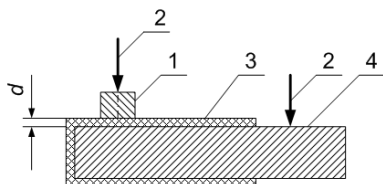


Рисунок 2 – Схема подключения электродов для измерения объемного электрического сопротивления покрытия: 1 – медная опора-токоприемник, 2 – пара щуповых электродов, 3 – корундовое покрытие толщиной d , 4 – материал алюминиевого сплава основы

Выявлено также, что режимом микродугового оксидирования с произвольно падающей мощностью обеспечиваются более высокие электрофизические показатели токозащиты в сравнении с гальваностатическим: по удельному объемному сопротивлению – в 1,5...2,5 раза, а по электрической прочности – в 1,4...2,1 раза, в зависимости от сплава и состава электролита.

Наилучшие показатели качества исследованных анодно-искровых покрытий на обоих сплавах и в обоих режимах микродугового оксидирования – наивысшие значения удельного объемного сопротивления и электрической прочности, наименьшую шероховатость и пористость поверхности – обеспечивает осуществление процесса в силикатно-щелочном электролите с композицией в нем «калиевая щелочь + жидкое стекло» (г/л) в соотношении 1 : 6.

Пористость анодно-искровых покрытий по методу микродугового оксидирования, прослеживаемая обычной микроскопической визуализацией (рис. 3), определяет их основной недостаток как электроизоляционных – ухудшение диэлектрических показателей со временем, особенно при выдержке во влажном воздухе. Аналогичная среда может возникать также в условиях шлифования с использованием технологических жидких сред. К сожалению, получить такие покрытия абсолютно без пор невозможно, поскольку это обусловлено сущностью самого процесса микродугового оксидирования, но можно минимизировать пористость за счет оптимизации технологических параметров.

Более радикальный эффект достигим при обработке поверхности покрытий после операции микродугового оксидирования полимерными материалами.



Рисунок 3 – Микроскопическая визуализация корундового покрытия на поверхности алюминиевого сплава (АК6) корпуса алмазного шлифовального круга при увеличениях (USB-микроскоп Supereyes B008): x4 (а, видна часть заводской маркировки инструмента); x100 (б, просматриваются выходы пористости на поверхность покрытия).

Установлено, что насыщение поверхностной пористости композицией на основе винилхлорида с низкой вязкостью позволяет в несколько раз повысить характеристики диэлектрической защиты и их устойчивость во влажной среде. Способ запатентован [16].

Закключение. По результатам выполненных исследований базовыми режимом и электролитом для изготовления опытно-экспериментальной партии инновационных алмазно-абразивных инструментов и разработки рекомендаций для промышленности приняты режим микродугового оксидирования с произвольно падающей мощностью и силикатно-щелочной электролит с композицией в нем «калиевая щелочь + жидкое стекло» (г/л) в соотношении 1 : 6.

Исследование размерного эффекта и электрически барьерных свойств поверхностей микродугового оксидирования в рамках разработки конструкций и технологий алмазных шлифовальных кругов с электроизоляционными анодно-искровыми покрытиями их корпусов из алюминиевых сплавов выполняется в в рамках НИР по проекту НТУ «ХПИ» ID 64244 от 26.08.2016 р. (№ регистрации 0109U007406) в плане научных исследований и разработок учреждений Министерства науки и образования Украины на 2017-2018 гг.

Список использованных источников: 1. Узунян, М. Д. Шлифование наноструктурных твердых сплавов / М. Д. Узунян, Р. М. Стрельчук. – Харьков : НТУ ХПИ, 2015. –182 с. 2. Руднев, О. В. Забезпечення якості двошарових алмазних пластин при алмазно-іскровому шліфуванні на основі аналізу приведеного профілю ріжучої поверхні круга : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / О. В. Руднев [наук. кер. М. Д. Узунян]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Х., 2017. – 24 с. [Дис. :

164 с.] **3. Гуцаленко, Ю. Г.** Алмазно-искровое шлифование: обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания / Ю. Г. Гуцаленко // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков: ГП ХМЗ «ФЭД», 2012. – С. 79-88. **4. Богатырева, Г. П. Бурыкин В. В., Гаргин В. В. и др.** Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Г. П. Богатырева, В. В. Бурыкин, В. В. Гаргин и др.; под ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с. **5. Гуцаленко Ю. Г.** Алмазно-іскрове шліфування матеріалів високої функціональності: Моногр. [Електрон. ресурс] / Ю. Г. Гуцаленко. – 2-е вид., перероб. і допов. – Х.: Вид-во «Курсор», НТУ «ХПІ», 2017. – 289 с. [3,37 Мб] – Рос. мовою. – Код доступу online: <http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2017/12/dsghfm-monograph-ed.2.pdf>. **6. Гуцаленко, Ю. Г.** Композиція для електроізоляційних зносостійких покриттів: патент на корисну модель № 92786 Україна: МПК C08L 63/02 (2006.01), C08J 5/16 (2006.01) / Ю. Г. Гуцаленко, В. В. Івкін, О. В. Руднев, О. К. Севидова; власник: Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u 2013 15441; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17. **7. Бакуль, В. Н.** Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / В. Н. Бакуль, Ю. И. Никитин, Е. Б. Верник, В. Ф. Селех. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с. **8. Белозеров, В. В.** Модернизация алмазно-абразивных инструментов торцевого шлифования для технологий обработки с токоподводом на рабочую поверхность резания / В. В. Белозеров, Ю. Г. Гуцаленко, Е. К. Севидова, А. И. Махатилова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доп. XXIV міжнар. наук.-практ. конф. (18-20 трав. 2016 р., Харків). – У 4-х ч. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – Ч. I. – С. 91. **9. Эльфельд, А. В.** Применение технологии микродугового окислирования для формирования защитных покрытий / А. В. Эльфельд // Технология машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 39-44. **10. Павлюс, С. Г.** Диэлектрические свойства анодно-искровых силикатных покрытий на алюминии / С. Г. Павлюс, В. И. Соборницкий, Ю. А. Шенгут [и др.] // Электронная обработка материалов. – 1987. – № 3. – С. 34-36. **11. Баковец, В. В.** Оксидные пленки, полученные обработкой алюминиевых сплавов в концентрированной серной кислоте в анодно-искровом режиме / В. В. Баковец, И. П. Долговесова, Г. Л. Никифорова // Защита металлов. – Т. 22 (1986). – № 3. – С. 440-444. **12. Суминов, И. В.** Микродуговое окислирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов, А. В. Эльфельд, В. Б. Людин [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с. **13. Гуцаленко, Ю. Г.** Шліфувальний круг: патент на корисну модель № 96568 Україна: МПК (2006.01) B24D 3/06 / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, І. І. Степанова; власник: Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u 2014 09394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3. **14. Гуцаленко, Ю. Г.** Шліфувальний круг для обробки з комбінуванням механічних та електричних процесів в зоні різання: патент на корисну модель № 121852 Україна: МПК (2006) B24D 7/00, B24D 7/06 (2006.01), B24D 3/06 (2006.01) / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, О. В. Руднев, І. І. Степанова, В. В. Івкін; власник: Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № а 2017 00078; заявл. 03.01.2017; опубл. 26.12.2017. Бюл. № 24. **15. Гуцаленко, Ю. Г.** Шліфувальний круг: патент на корисну модель № 117767 Україна: МПК (2006.01) B24D 5/16 / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, В. В. Білозеров, Г. І. Махатілова; власник: Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u 2017 00074; заявл. 03.01.2017; опубл. 10.07.2017. Бюл. № 13. **16. Севидова, О. К.** Спосіб формування зносостійких електроізоляційних покриттів на сплавах алюмінію та титану: патент на корисну модель № 111473 Україна: МПК (2016.01) C25D 11/00, C25D 11/04 (2006.01), C25D 3/54 (2006.01) / О. К. Севидова, І. І. Степанова, Ю. Г. Гуцаленко, К. М. Алексєєв; власник: Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № u 2016 05063; заявл. 06.05.2016; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 21.

Bibliography (transliterated): **1.** Uzunyan, M. D., and R. M. Strelchuk. Shlifovanie nanostrukturnyih tverdyih spлавov. Kharkov, NTU "KhPI", 2015. 182 p. Print. **2.** Rudnev, O. V. Zabezpechennya yakosti dvosharovykhalmaznykh plastyn pryalmazno-iskrovomu shlifuvanni na osnovi analizu pryvedenoho profilu rızhuchoyi poverkhni kruha: Avtoref. ... dys. kand. tekhn. nauk: 05.03.01 – protsesy mekhanichnoyi obrobky, verstaty ta instrumenty / O. V. Rudnev; Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst.". – Kharkov, 2017. – 24 p. Print. **3.** Gutsalenko, Yu. G. "Almazno-iskrovoe

shlifovanie: obzor sorokaletija razrabotki har'kovskoj nauchnoj shkoly fiziki processov rezaniya". Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii v narodnom hozjajstve: Tr. 18-j mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 5th-6th Dec. 2012. Kharkov: GP HMZ "FED", 2012. Print. **4.** Bogatyireva, G. P., et al. Instrumenty iz sverhtvyordyih materialov. Ed. N. V. Novikov and S. A. Klimenko. Moscow: Mashinostroenie, 2014. 608 p. Print. **5.** Gutsalenko, Yu. G. Almazno-iskrove shlifuvannya materialiv visokoї funkcional'nosti. 2-nd ed. Kharkov, Kursor, NTU «KhPI», 2017, Web, 289 p., 3.37 Mb, in Russian, <<http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2017/12/dsghfm-monograph-ed.2.pdf>>. **6.** Gutsalenko, Yu. G., et al. Kompoziciya dlja elektroizoljacionih znosostijkih pokrittiv: patent na korisnu model'. No.92786 Ukraine. IPC, 2006.01 C08L 63/02, C08J 5/16. No. u 2013 15441. Appl. 30.12.2013. Publish. 10.09.2014. Bull. No. 17. Print. **7.** Bakul', V. N., et al. Osnovy proektirovaniya i tekhnologiya izgotovleniya abrazivnogo i almaznogo instrumenta. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 296 p. Print. **8.** Belozerov, V. V., et al. "Modernizaciya almazno-abrazivnyh instrumentov torcevoogo shlifovaniya dlja tekhnologij obrabotki s tokopodvodom na rabochuyu poverhnost' rezaniya". Informatsiyni tekhnologiyi: nauka, tehnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: materiali XXIV mizhnar. nauk.-prakt. konf. (18-20 travnya 2016 r., Kharkov). Kharkov: NTU "KhPI", 2016. Part. 1, p. 91. Print. **9.** Jepel'fel'd, A. V. "Primenenie tekhnologii mikrodugovogo oksidirovaniya dlja formirovaniya zashhitnyh pokritij". Tekhnologija mashinostroeniya. 2004. No. 4. 39-44. Print. **10.** Pavljus, S. G., et al. "Dijelektricheskie svojstva anodno-iskrovyyh silikatnyh pokrytij na aljuminii". Jelektronnaja obrabotka materialov. 1987. No. 3. 34-36. Print. **11.** Bakovec, V. V., I. P. Dolgovesova, and G. L. Nikifirova. "Oksidnye plenki, poluchennye obrabotkoj aljuminievyh splavov v koncentrirovannoj sernoj kislothe v anodno-iskrovom rezhime". Zashhita metallov. Vol. 22 (1986). No. 3. 440-444. Print. **12.** Suminov, I. V., et al. Mikrodugovoe oksidirovanie (teoriya, tekhnologiya, oborudovanie). Moscow: EKOMET, 2005. 368 p. Print. **13.** Gutsalenko, Yu. G., O. K. Sevidova, and I. I. Stepanova. Shlifuval'nij krug: patent na korisnu model'. No. 96568 Ukraine. IPC, 2006.01 B24D 3/06. No. u 2014 09394. Appl. 26.08.2014. Publish. 10.02.2015. Bull. No. 3. Print. **14.** Gutsalenko, Yu. G., et al. Shlifuval'nyy kruh dlja obrobky z kombinuvannyam mekhanichnykh ta elektrichnykh protsesiv v zoni rizannya: patent na korisnu model'. No. 121852 Ukraine. IPC (2006), B24D 7/00, B24D 7/06 (2006.01), B24D 3/06 (2006.01). No. u 2017 00078. Appl. 26.12.2017. Bull. No. 24. Print. **15.** Gutsalenko, Yu. G., et al. Shlifuval'nij krug: patent na korisnu model'. No. 117767 Ukraine. IPC, 2006.01 B24D 5/16. No. u 2017 00074. Appl. 03.01.2017. Publish. 10.07.2017. Bull. No. 13. Print. **16.** Sevidova, O. K., et al. Sposib formuvannya znosostiykih elektroizolyatsiynih pokrittiv na splavah alyuminiyu ta titanu: patent na korisnu model'. No.111473 Ukraine. IPC, 2016.01 C25D 11/00, C25D 11/04 (2006.01), C25D 3/54 (2006.01). No. u 2016 05063. Appl. 06.05.2016. Publish. 10.11.2016. Bull. No. 21. Print.